

## TECHNICAL SCIENCE

УДК 681.51: 621.574.3: 661.53

*Бабіченко Анатолій Костянтинович,  
Подустов Михайло Олексійович,  
Кравченко Яна Олегівна,  
Красніков Ігор Леонідович*

*НТУ «ХПІ», кафедра АТС та ЕМ, м. Харків, Україна*

[DOI: 10.24411/2520-6990-2019-11285](https://doi.org/10.24411/2520-6990-2019-11285)

# ЕНЕРГОЕФЕКТИВНА КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВНА ТЕХНОЛОГІЯ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ ВТОРИННОЇ КОНДЕНСАЦІЇ ВИРОБНИЦТВА АМІАКУ

*Babichenko Anatolii Kostiantynovych,  
Podustov Mykhailo Oleksiiovych,  
Kravchenko Yana Olehivna,  
Krasnikov Ihor Leonidovych*

*NTU «KhPI», Department of TSA and EM, Kharkiv, Ukraine*

## ENERGY-EFFICIENTY COMPUTER INTEGRATED TECHNOLOGY FOR CONTROL OF THE SECONDARY CONDENSATION PROCESS OF PRODUCTION OF AMMONIA

### Анотація

Проведено аналіз умов функціонування технологічного комплексу вторинної конденсації. Розроблена комп'ютерно-інтегрована технологія управління із алгоритмічним забезпеченням щодо ідентифікації та оптимізації процесу вторинної конденсації.

### Abstract

The conditions of functioning of the technological complex of secondary condensation are analyzed. Computer integrated control technology with algorithmic support for the identification and optimization of the secondary condensation process has been developed.

**Ключові слова:** виробництво аміаку, комп'ютерно-інтегрована технологія, вторинна конденсація, енергоефективність.

**Keywords:** ammonia production, computer integrated technology, secondary condensation, energy efficiency.

Однією з основних тенденцій розвитку виробництва аміаку є зниження енергоспоживання за рахунок впровадження енерготехнологічних систем, що утилізують низькопотенціальну теплоту матеріальних потоків [1]. Такий підхід знайшов відображення у широкому використанні абсорбційних і паро ежекторних (АХУ і ПХУ) у складі діючих в Україні агрегатах серії АМ-1360, які забезпечують охолодження циркуляційного газу (ЦГ) у низькотемпературних (ВНТ) та високотемпературних випарниках (ВВТ) і утворюють разом з конденсаційною колоною (КН) комплекс вторинної конденсації відділення синтезу аміаку [2]. Однак експлуатація АХУ та блоку первинної конденсації (БПК) внаслідок застосування у їх складі апаратів з повітряним і водяним охолодженням відбувається під постійним впливом зміни показників зовнішнього середовища, що зумовлює не тільки параметричну невизначеність у функціонуванні об'єкту (ВНТ), але і призводить до зниження економічності виробництва.

Згідно проведених досліджень зміна температури атмосферного повітря в діапазоні від -6°C до 30°C призводить до зміни координат вектора збурень у ВНТ. При цьому надходження холодоагенту з домішками води до ВНТ викликає необхідність проведення процесу дренажування її у вигляді флегми

з деякою витратою Мф. Цей процес згідно попередньо проведених досліджень суттєво впливає на температуру  $\Theta_{2Ц}$  охолодження ЦГ у ВНТ і носить екстремальний характер її залежності від керуючої дії витрати флегми [3]. За існуючих змін координат вектора збурень відбувається і зміщення екстремуму (мінімального значення температури  $\Theta_{2Ц}$ ). Внаслідок коливань координат вектора збурень діапазон зміни температури  $\Theta_{2Ц}$  охолодження ЦГ у ВНТ складає від -8°C до 5°C. Проте збільшення останньої призводить до зниження економічності агрегату синтезу за рахунок збільшення річної витрати природного газу у додатковий паровий котел для отримання водяної пари високого тиску, що забезпечує привід відцентрового компресора відділення синтезу. Зважаючи на це критерій економічності технологічного комплексу вторинної конденсації Е (грн) може бути представлений у вигляді:

$$E = (V_{ПГ}^D + \varphi \Delta \Theta_{2Ц}) V_{ПГ} \cdot Ч, \quad (1)$$

де  $V_{ПГ}^D = 4000 \text{ м}^3/\text{год}$  – витрата природного газу за регламентом у додатковий паровий котел за температури охолодження ЦГ у випарнику 0°C;  $\varphi = 42,68 \text{ (м}^3/\text{год)}/^\circ\text{C}$  – витратний коефіцієнт по природному газу за рахунок зниження температури  $\Theta_{2Ц}$

на  $1^{\circ}\text{C}$  [4];  $\Delta\Theta_{\text{ЦГ}} = (\Theta_{\text{ЦГ}} - 0)^{\circ}\text{C}$  – зміна температури охолодження ЦГ відносно  $0^{\circ}\text{C}$ ;  $V_{\text{ПГ}} = 6,8 \text{ грн/м}^3$  – вартість природного газу;  $Ч = 7200 \text{ год}$  – середньорічний час роботи агрегату синтезу.

Згідно рівняння (1) підвищення економічної ефективності технологічного комплексу вторинної конденсації за рахунок зниження температури охолодження ЦГ у ВНТ навіть на  $1^{\circ}\text{C}$  забезпечить зменшення річної витрати природного газу на 307,3 тис.  $\text{м}^3$  та підвищить економічність агрегату синтезу

на 2,1 млн. грн. За таких обставин розв'язання задачі мінімізації температури  $\Theta_{\text{ЦГ}}$  може бути виконано із застосуванням адаптивної системи автоматичної оптимізації, структура якої характеризується наявністю ідентифікатора з математичною моделлю, обчислювачем для корегування параметрів моделі та параметрів керування. Узагальнена структура управління процесом вторинної конденсації у вигляді функціональної схеми представлена на рис. 1, а основні позначення параметрів, що утворюють базу даних зведені до табл. 1.

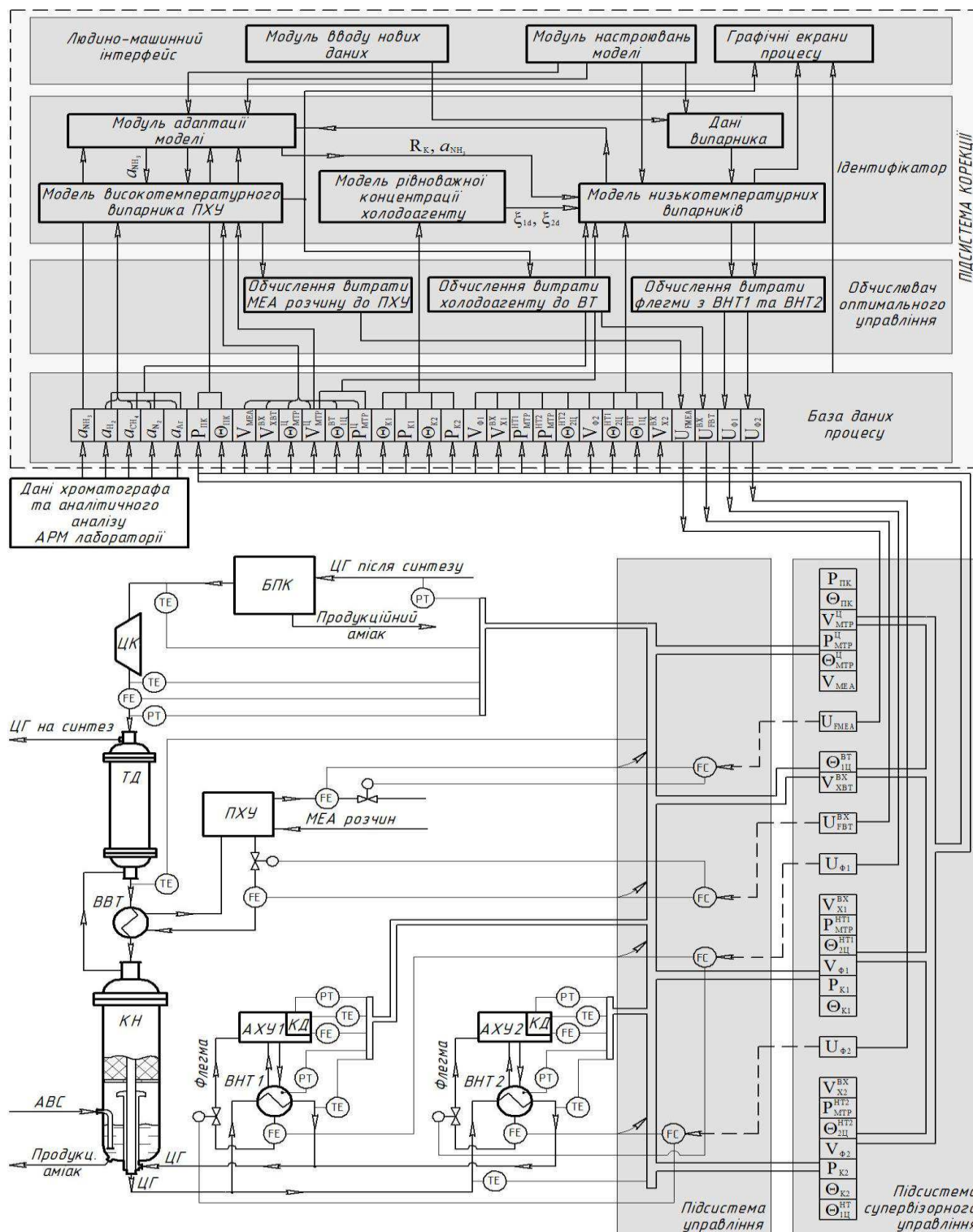


Рисунок 1 Функціональна схема управління процесом вторинної конденсації виробництва аміаку

**Основні позначення технологічних параметрів бази даних процесу вторинної конденсації**

Позначення	Найменування параметра
$a_i$	концентрація складових ЦГ ( $\text{NH}_3$ , $\text{H}_2$ , $\text{CH}_4$ , $\text{N}_2$ , $\text{Ar}$ )
$P_{\text{ПК}}, \Theta_{\text{ПК}}$	відповідно тиск та температура первинної конденсації
$V_{\text{МЕА}}, V_{\text{ХВТ}}^{\text{BX}}$	витрата відповідно МЕА-розчину та холодоагенту до ВВТ
$V_{\text{МТР}}^{\text{Ц}}, P_{\text{МТР}}^{\text{Ц}}, \Theta_{\text{МТР}}^{\text{Ц}}$	відповідно витрата, тиск та температура ЦГ після циркуляційного компресора (ЦК)
$\Theta_{\text{ВТ}}^{\text{Ц}}, \Theta_{\text{ВТ}}^{\text{НТ1}}$	температура ЦГ відповідно на виході додаткового теплообмінника (ТД) та на вході ВНТ1
$\Theta_{\text{К1}}, \Theta_{\text{К2}}$	температура у конденсаторах (КД) АХУ1 та у КД АХУ2 відповідно
$P_{\text{К1}}, P_{\text{К2}}$	тиск у КД АХУ1 та у КД АХУ2 відповідно
$V_{\text{Ф1}}, V_{\text{Ф2}}$	витрата флегми з ВНТ1 до АХУ1 та з ВНТ2 до АХУ2 відповідно
$V_{\text{Х1}}^{\text{BX}}, V_{\text{Х2}}^{\text{BX}}$	витрата холодоагенту до КД АХУ1 та до КД АХУ2 відповідно
$P_{\text{МТР}}^{\text{НТ1}}, P_{\text{МТР}}^{\text{НТ2}}$	тиск у міжтрубному просторі ВНТ1 та ВНТ2 відповідно
$\Theta_{\text{ВТ}}^{\text{НТ1}}, \Theta_{\text{ВТ}}^{\text{НТ2}}$	температура ЦГ на виході випарника ВНТ1 та ВНТ2 відповідно
$U_{\text{МЕА}}$	розрахований коефіцієнт заданої витрати МЕА-розчину
$U_{\text{ВТ}}^{\text{BX}}$	розрахований коефіцієнт заданої витрати холодоагенту до ВВТ
$U_{\text{Ф1}}, U_{\text{Ф2}}$	розраховані коефіцієнти заданої витрати флегми з ВНТ1 до АХУ1 та з ВНТ2 до АХУ2 відповідно

Наведене на рис. 1 апаратурно-технологічне оформлення процесу вторинної конденсації виконане за результатами попередніх досліджень забезпечує зниження загального споживання холодинної енергії з 11,6 МВт до 8,5 МВт [2]. На функціональній схемі показані лише контури управління, що розроблені в процесі досліджень. До складу цих контурів входять: ідентифікатор з математичною моделлю, обчислювач оптимального управління та основний регулятор витрати. Регулятори витрати реалізовані в підсистемі управління, значення уставок для яких формується підсистемою корекції. Однак оператор може змінювати їх через рівень супервізорного управління. Технологія управління реалізована на базі SCADA-системи ZENON, однією з функцій якої є ведення бази даних реального часу з технологічною інформацією та передача даних на збереження і обробку в сторонні бази даних і програми.

Програмне забезпечення ідентифікатора з обчислювачем реалізоване у пакеті MATLAB R2014a, які є центральними модулями у підсистемі корекції. Вони реалізують алгоритми стабілізації та оптимізації (мінімізації) температурного режиму охолодження ЦГ відповідно у випарниках ВВТ та ВНТ [2, 3]. При цьому, пошук екстремуму температури з визначенням оптимальної витрати флегми  $M_{\text{ф}}$  для випарників ВНТ здійснюється без градієнтним способом крокового типу з використанням методу одномірного пошуку екстремуму [3]. Конструктивні показники випарників розміщуються в базі «дані випарників». Концентрація холодоагенту  $\xi_{\text{д}}$  на вході випарників ВНТ визначається за моделлю, що

апроксимує табличні дані. АРМ лабораторії забезпечує визначення концентрації аміаку  $a_{\text{NH}_3}$  у ЦГ лише раз за зміну, а іноді і за добу. Це викликає необхідність у застосуванні модуля адаптації моделі, який за спеціально розробленим алгоритмом здійснює перерахунок концентрації аміаку  $a_{\text{NH}_3}$  у ЦГ на виході БПК та конденсаційного термічного опору  $R_{\text{к}}$  для корегування моделі ВНТ з метою забезпечення її адекватності реальному об'єкту [5].

Блок людино-машинного інтерфейсу згідно рис.1 містить три модулі. Модуль вводу нових даних дозволяє у зручному для оператора вигляді модифікувати таблиці з даними для нових компонентів. Модуль настроювань моделі призначений для ручного вводу необхідних конструктивних даних по випарникам, конденсаційній колоні і теплообміннику та запуску процесу проведення перевірки повної адекватності моделей. Графічні екрани процесу забезпечують більш детальний аналіз всієї інформації по процесу вторинної конденсації, які призначені тільки для наладника підсистеми, а не для оператора процесу.

Розроблена комп'ютерно-інтегрована технологія забезпечує зниження температурного режиму охолодження ЦГ в середньому на  $4^{\circ}\text{C}$ , що обумовлює зменшення річних експлуатаційних витрат по природному газу на 1,2 млн.м<sup>3</sup>.

**Список літератури**

1. Бабіченко А.К., Азаров М.І., Бабіченко Ю.А., Красніков І.Л., Лисаченко І.Г. Дослідження загальних тенденцій сучасного розвитку виробництва аміаку. Технологический аудит и резервы производства. 2014. №5/1(19). С.55-60.

2. Babichenko A., Velma V., Babichenko J., Kravchenko Y., Krasnikov I. System analysis of the secondary condensation unit in the context of improving energy efficiency of ammonia production. Eastern-European Journal of Enterprise technologies. 2017. Vol. 2/6 (86). P.18-26. doi 10.15187/1729-4061.2017.96464

3. Babichenko A., Kravchenko Y., Babichenko J., Krasnikov I., Lysachenko I., Velma S. Algorithmic tools for optimizing the temperature regime of evaporator at absorption-refrigeration units of ammonia production. Eastern-European Journal of Enterprise technologies. 2018. Vol. 4/2 (94). P. 29–35. DOI 10.15587/1729-4061.2018.139633.

4. Бабиченко А.К., Ефимов В.Т. Влияние температуры вторичной конденсации на экономические показатели работы агрегатов синтеза аммиака большой мощности. Вопросы химии и химической технологии. 1986. Вып. 80. С. 113-117.

5. Babichenko A., Babichenko J., Velma S., Kravchenko Y., Krasnikov I., Lysachenko I. Identification of heat exchange process in the evaporators of absorption refrigerating units under conditions of uncertainty. Eastern-European Journal of Enterprise technologies. 2018. Vol. 1/2 (91). P. 21–29. DOI 10.15587/1729-4061.2018.121711.

УДК: 519.242.7

*Куковинец Алексей Валерьевич*

*МИРЭА – Российский технологический университет*

[DOI: 10.24411/2520-6990-2019-11210](https://doi.org/10.24411/2520-6990-2019-11210)

### ПОЛНЫЙ ФАКТОРНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ФРАГМЕНТАРНОГО МЕТОДА ОБНАРУЖЕНИЯ ГРАНИЦ ОБЪЕКТОВ НА ЦИФРОВОМ ИЗОБРАЖЕНИИ

*Kukovinets Alexey Valerievich*

*MIREA – Russian technological university*

### A FULL FACTORIAL EXPERIMENT FOR RESEARCH OF A FRAGMENTARY METHOD OF DETECTING THE BOUNDARIES OF OBJECTS IN A DIGITAL IMAGE

#### *Аннотация*

*В статье описано планирование и проведение полного факторного эксперимента в задаче исследования параметров, влияющих на скорость обработки цифровых изображений фрагментарным методом обнаружения границ объектов. Найдена отправная точка для работ по повышению скорости работы алгоритма.*

#### *Abstract*

*The article describes the planning and implementation of a full factorial experiment in the problem of researching parameters that affect the speed of digital image processing by the fragmentary method of detecting object boundaries. The starting point for the work on improving the algorithm speed was found.*

**Ключевые слова:** *полный факторный эксперимент, фрагментарный метод обнаружения границ, математическая статистика, цифровая обработка изображений.*

**Keywords:** *full factorial experiment, fragmentary method of boundary detection, mathematical statistics, digital image processing.*

**Введение.** В работе [1] представлен разработанный фрагментарный метод обнаружения границ объектов на цифровом изображении. Его суть заключается в разбиении входного изображения на фрагменты и последующей их обработке глубокой нейронной сетью с целью определения типа границы на фрагменте: сплошная, вертикальная, горизонтальная или диагональная. Выходное обработанное изображение является отфильтрованным исходным изображением, с которого удалены все сплошные области.

Обработанное фрагментарным методом изображение обладает большей необходимой детализацией, чем обработанное с помощью, например, градиентных методов, однако времени на этот процесс также требуется больше. Чтобы найти отправную точку для работ по улучшению алгоритма обработки, необходимо оценить параметры, влияющие на время обработки. В данной работе рассматриваются следующие параметры: высота и ширина

входного изображения  $h$  и  $w$  соответственно, а также количество потоков, одновременно обрабатываемых равные части изображения. Рассмотрение отдельно ширины и высоты, а не площади  $S = w \cdot h$ , целесообразно для, например, подбора разрешения фотоаппарата для съёмки панорамных фото – может быть решена задача нахождения оптимального разрешения для минимального времени последующей обработки. Изменение количества потоков напрямую зависит от физических возможностей устройства обработки, определяемых количеством ядер процессора.

Для исследования влияния параметров на время обработки изображения предлагается провести полный факторный эксперимент (ПФЭ), в котором примем следующие факторы:  $x_1 = h$ ,  $x_2 = w$ ,  $x_3 = p_c$  (process\_counter). Центр эксперимента выберем, исходя из размеров тестового изображения (рис. 1), удовлетворяющих условиям панорамного